

PCT
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
 Internationales Büro
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



(51) Internationale Patentklassifikation ⁵ : <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">G06F 15/42</p>	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 94/19758 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 1. September 1994 (01.09.94)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE94/00157 (22) Internationales Anmeldedatum: 15. Februar 1994 (15.02.94) (30) Prioritätsdaten: P 43 04 571.5 16. Februar 1993 (16.02.93) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): MDC MEDICAL DIAGNOSTIC COMPUTING GMBH [DE/DE]; Zeyestrasse 16-24, D-24106 Kiel (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): KLIEGIS, Ulrich, Georg [DE/DE]; Holtenauer Strasse 273, D-24106 Kiel (DE). LUNDT, Bernd [DE/DE]; Elisabethstrasse 32, D-24143 Kiel (DE). (74) Anwalt: HELDT, Gert; Neuer Wall 59 III, D-20354 Hamburg (DE).	(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>	
(54) Title: PROCESS FOR PLANNING AND MONITORING A SURGICAL OPERATION (54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR PLANUNG UND KONTROLLE EINES CHIRURGISCHEN EINGRIFFS (57) Abstract <p>In a process for planning and monitoring a surgical operation, an operation area is defined. At least one reference image of the operation area is generated by non-invasively obtainable structural data and used to plan at least one incision surface along which tissues are to be separated during the operation. Then an image of the intended incision surface is generated which is superimposed on an actual image of the operation area or even projected on the operation area itself during the operation. A three-dimensional reference image is used as the basis in planning the incision surface. A three-dimensional image of the incision surface superimposed upon the reference image is generated. It is computer-supported by data from images produced in different way. The images represent the operation area in superimposed layers. In making the reference image, computer tomographs, nuclear spin resonance, ultrasonic and/or X-ray images of the operation area are assessed. The reference image is stored in the store of a computer as a logic record. The image of the incision surface is superimposed on the reference image. It rises visually from the reference image. The incision surfaces are represented as transparent or semi-transparent lines.</p>		
(57) Zusammenfassung <p>Bei einem Verfahren zur Planung und Kontrolle eines chirurgischen Eingriffs wird ein Operationsfeld festgelegt. Mindestens eine Soll-Abbildung des Operationsfeldes wird aus nicht-invasiv erfassbaren Strukturdaten erzeugt und der Planung mindestens einer Schnittfläche zugrunde gelegt, entlang derer während des Eingriffs Gewebe getrennt werden soll. Anschließend wird eine Abbildung der geplanten Schnittfläche erzeugt, die während des Eingriffs einer Ist-Abbildung des Operationsfeldes überlagert oder auf das Operationsfeld selbst projiziert wird. Bei Planung der Schnittfläche wird eine dreidimensionale Soll-Abbildung zugrunde gelegt. Eine dreidimensionale, der Soll-Abbildung überlagerte Abbildung der Schnittfläche wird erzeugt. Sie wird rechnergestützt aus Daten unterschiedlich erzeugter Aufnahmen erstellt. Die Aufnahmen bilden das Operationsfeld in jeweils übereinanderliegenden Schichten ab. Beim Erstellen der Soll-Abbildung werden Computertomographien, Kernspinresonanz-, Ultraschall-, und/oder Röntgenaufnahmen des Operationsfeldes ausgewertet. Die Soll-Abbildung wird als Datensatz im Speicher einer DVA gespeichert. Sie wird zur Planung des Eingriffs auf einer Bildwiedergabevorrichtung abgebildet. Die Abbildung der Schnittfläche der Soll-Abbildung wird überlagert. Sie hebt sich visuell von der Soll-Abbildung ab. Die Schnittflächen werden als transparente oder semitransparente Linien dargestellt.</p>		

mit der tatsächlichen Schnittführung zu besitzen und um unbeabsichtigte Abweichungen von den geplanten Schnittflächen möglichst zu vermeiden.

Ausgehend hiervon liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs genannten Art zu entwickeln, mit welchen sich eine größere Übereinstimmung zwischen einer geplanten und einer beim Eingriff vorgenommenen Schnittführung erzielen lassen.

Diese Aufgabe wird im Hinblick auf das Verfahren erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß eine Abbildung der geplanten Schnittfläche erzeugt wird, die während des Eingriffs einer Ist-Abbildung des Operationsfeld überlagert oder auf das Operationsfeld selbst projiziert wird. Die Erfindung ermöglicht es dadurch dem Chirurgen, ein Skalpell oder ein anderes Schneidwerkzeug entsprechend der vorgegebenen visuellen Information zu bewegen und seine Schnittführung anhand der Abbildung der Schnittfläche zu kontrollieren.

Eine bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, daß im Unterschied zu den herkömmlichen Verfahren der Planung der Schnittfläche eine dreidimensionale Soll-Abbildung zugrunde gelegt wird, die rechnergestützt aus Strukturdaten erstellt wird, die man ebenfalls rechnergestützt durch die Auswertung von Computertomographie-, Kernspिनresonanz-, Ultraschall-, Röntgen- oder holographischen Untersuchungen bzw. der dabei erstellten Schichtaufnahmen des Operationsfeldes erhält. Diese dreidimensionale Soll-Abbildung kann beispielsweise auf einem Monitor dargestellt werden, und ermöglicht es, die Anordnung der Schnittfläche über die gesamte Tiefe des Operationsfeldes zu planen.

Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, daß beispielsweise durch Eingabe von Koordinaten von Punkten der Schnittfläche eine der Soll-Abbildung überlagerte dreidimensionale Abbildung der Schnittfläche auf dem Monitor erzeugt wird, wobei eine Optimierung dieser Schnittfläche durch Verän-

derung einzelner Parameter erfolgen kann und wobei mehrere Möglichkeiten der Schnittflächenanordnung als Datensatz gespeichert und bei Bedarf erneut abgerufen werden können. Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, daß die dreidimensionale Abbildung der Schnittfläche als 3D-Datensatz gespeichert wird, so daß sie ebenfalls bei Bedarf abgerufen werden kann.

Während des Eingriffs kann dann die Soll-Abbildung zusammen mit den geplanten Schnittflächen oder nur die Schnittflächen selbst, sowie außerdem Hinweislinien auf verletzbare Strukturen wie größere Gefäße, Nerven usw. im Sichtfeld des Chirurgen, beispielsweise auf einen Monitor oder einer Projektionsleinwand dargestellt oder auf das Operationsfeld selbst projiziert werden, um so dem Chirurgen als Leitlinie und Kontrolle beim Vornehmen der Gewebetrennschnitte zu dienen. Werden die Soll-Abbildung und die Schnittfläche auf einem Monitor oder auf einer Projektionsleinwand dargestellt, was gegenüber einer Projektion auf dem Operationsfeld selbst eine deutlichere Abbildung gewährleistet, so ist eine vollständige Kontrolle der tatsächlichen Schnittführung allerdings nur dann möglich, wenn dieser Soll-Abbildung, wie erfindungsgemäß vorgeschlagen wurde, eine Ist-Abbildung des Operationsfeldes unterlagert wird, so daß der Chirurg z.B. beim Durchtrennen von Gewebe in Echtzeit kontrollieren kann, ob er sein Instrument entlang der geplanten Schnittfläche führt.

Um eine koordinaten- und maßstabsgetreue Überlagerung der Schnittfläche, der Soll-Abbildung und der Ist-Abbildung zu gewährleisten, wird gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung vorgeschlagen, die Schnittfläche und/oder die Soll-Abbildung mit der Ist-Abbildung zur Deckung zu bringen, indem das Operationsfeld, beispielsweise mit einer Videokamera, aufgenommen und das Videobildsignal einer Bildverarbeitungseinheit zugeführt wird, von wo er in Form eines Datensatzes einer Datenverarbeitungsanlage übermittelt wird, in der er in Echtzeit mit dem Datensatz der Soll-Abbildung verglichen wird, um Korrelationsfaktoren zu berechnen, die einen Ausgleich

ERSATZBLATT

von Koordinatenverschiebungen und/oder Maßstabsdifferenzen ermöglichen. Anschließend wird dann die mit der Ist-Abbildung zur Deckung gebrachte Soll-Abbildung die Ist-Abbildung überlagernd auf dem Monitor dargestellt. Dabei kann auch manuell eine interaktive Anpassung der Perspektive vorgenommen werden.

Die Korrelation von Soll-Abbildung und Ist-Abbildung kann dadurch vereinfacht werden, daß gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung vor oder während des Eingriffs die Raumlage des Operationsfeldes in einen festgelegten Koordinatensystem vermessen und die Meßdaten in die Datenverarbeitungsanlage eingegeben werden.

Da die Ist-Abbildung des Operationsfeldes auch bei einer Darstellung auf einem Monitor oder einer Projektionsleinwand vorteilhafterweise ebenso wie die Soll-Abbildung bzw. die Abbildung der Schnittfläche dreidimensional ist, wird gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung vorgeschlagen, für die Ist-Abbildung stereoskopische Bilder des Operationsfeldes zu erzeugen, die es dem mit einer Spezialbrille ausgestatteten Chirurgen erlauben, auch die Ist-Abbildung räumlich zu sehen. Eine derartige stereoskopische Darstellung kann beispielsweise dadurch erzeugt werden, daß das Operationsfeld von zwei nebeneinander angeordneten Videokameras aufgenommen wird, wobei auf dem Monitor oder der Projektionsleinwand abwechselnd in schneller Folge das Bild der einen bzw. der anderen Kamera abgebildet wird und wobei es eine synchron angesteuerte LCD-Brille, bei der in gleicher Folge abwechselnd das Sichtfeld jeweils eines Auges blockiert wird, dem Chirurgen ermöglicht, die Ist-Abbildung des Operationsfeldes als dreidimensionales Stereobild zu sehen.

Bei einer Projektion der Soll-Abbildung und der Schnittfläche unmittelbar auf das Operationsfeld können diese in ähnlicher Weise, beispielsweise durch Überlagerung zweier von entsprechend abgelenkten Laserstrahlen oder mit Hilfe von Videoprojektionsröhren erzeugten Kurvenzügen auf dem Operationsfeld als stereoskopische Projektion dargestellt und so bei Betrachtung

ERSATZBLATT

mit einer Spezialbrille die Richtung der Schnittfläche in die Tiefe des Gewebes visuell sichtbar gemacht werden. Der Chirurg kann dann sein Skalpell oder ein anderes Schnittinstrument unmittelbar an der dreidimensional dargestellten Schnittfläche entlangführen. Im zuletzt genannten Fall ist es beispielsweise auch möglich, für die Soll-Abbildung eine Anaglyphendarstellung zu wählen, wobei dem Operationsfeld ein Rot-Grün-Bild der Soll-Abbildung bzw. der Schnittfläche überlagert wird, welches beim Betrachten durch eine entsprechende Rot-Grün-Brille als stereoskopische Abbildung erscheint.

Vorteilhafterweise wird sowohl für die Soll-Abbildung als auch für die Abbildung der Schnittfläche eine Darstellung aus einer Richtung gewählt, die im wesentlichen der Blickrichtung des Chirurgen während des Eingriffs entspricht. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Soll-Abbildung bzw. die Schnittfläche stets als Draufsicht von oben abzubilden, da die Abbildung dann von der Position des Chirurgen bezüglich des Operationsfeldes unabhängig ist.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, daß die Lage des vom Chirurgen während des Eingriffs geführten Instruments fortlaufend ermittelt und in der mit der Ist-Abbildung zur Deckung gebrachten Soll-Abbildung mit der Lage der Schnittfläche verglichen wird. Abweichungen des Instruments von der geplanten Schnittfläche können dem Chirurgen beispielsweise durch ein akustisches oder optisches Signal mitgeteilt werden, woraufhin er die Schnittführung, falls gewünscht, korrigieren kann. Alternativ zur Anzeige der Abweichung kann auch die Bewegung des Instruments entlang der geplanten Schnittfläche durch eine von der Datenverarbeitungsanlage gesteuerte Instrumentenführung unterstützt werden, die bei Abweichungen der Ist-Position des Instruments von der Soll-Position der vom Chirurgen auf das Instrument ausgeübten Kraft eine entsprechend berechnete Kraft entgegensetzt, die eine Rückkehr des Instruments auf die geplante Schnittfläche bewirkt oder das Instrument innerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereichs zur Schnittfläche hält. Die Wirkung der Instrumentenfüh-

ERSATZBLATT

rung ist zweckmäßig in ihrem Einfluß steuerbar, so daß der Chirurg auf einen gegenüber dem simulierten Eingriff unterschiedlich verlaufenden Eingriff rasch reagieren kann.

Im Hinblick auf die Vorrichtung wird die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe dadurch gelöst, daß mindestens eine Datenverarbeitungsanlage (DVA) vorgesehen ist, von welcher mindestens eine Soll-Abbildung des Operationsfeldes aus zuvor erfaßten Strukturdaten erzeugt und gemeinsam mit mindestens einer auf der Grundlage der Soll-Abbildung geplanten Schnittfläche gespeichert werden kann, entlang derer während des Eingriffs Gewebe getrennt werden soll, sowie durch mindestens eine Bildwiedergabevorrichtung für die Projektion der Schnittfläche und/oder der Soll-Abbildung während des Eingriffs auf das Operationsfeld. Um die Soll-Abbildung mit dem Operationsfeld selbst exakt zur Deckung zu bringen, sieht eine bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung eine Vorrichtung zum Vermessen des Operationsfeldes vor, deren Meßdaten in die Datenverarbeitungsanlage eingegeben werden können, um eine Korrelation von Maßstab und Koordinaten der Soll-Abbildung und des Operationsfeldes zu erzeugen.

Alternativ dazu kann die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe auch durch eine Vorrichtung gelöst werden, die mindestens umfaßt: ein Bildaufnahmegerät zum Herstellen einer vorzugsweise kontinuierlichen Ist-Abbildung des Operationsfeldes, eine Datenverarbeitungsanlage (DVA), von welcher mindestens eine Soll-Abbildung des Operationsfeldes aus zuvor erfaßten Strukturdaten erzeugt, gemeinsam mit mindestens einer auf der Grundlage der Soll-Abbildung geplanten Schnittfläche gespeichert und mit der Ist-Abbildung zur Deckung gebracht werden kann, sowie mindestens eine Bildwiedergabevorrichtung für die Darstellung der der Ist-Abbildung überlagerten Schnittfläche und/oder Soll-Abbildung. Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht weiter eine Vorrichtung zum Einlesen von Koordinaten, beispielsweise einen Scanner, mindestens einer die Soll-Abbildung überlagernd dargestellten Schnittfläche vor.

ERSATZBLATT

An das Bildaufnahmegerät ist zweckmäßig eine Bildverarbeitungseinheit angeschlossen, von welcher das aufgezeichnete Bild des Operationsfelds in elektronische Daten umgewandelt und an die DVA übermittelt wird, wo es mit dem Datensatz der Soll-Abbildung verglichen wird, um die Soll-Abbildung und die Schnittfläche mit der Ist-Abbildung im Hinblick auf den Koordinatennullpunkt, die Richtung der Koordinatenachsen und den Maßstab zur Deckung zu bringen.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht mindestens zwei Bildaufnahmegeräte zum Aufzeichnen von stereoskopischen Ist-Abbildungen des Operationsfelds vor, die einer dreidimensionalen Abbildung der Schnittfläche und/oder dreidimensionalen Soll-Abbildung unterlagert werden können.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Bildwiedergabevorrichtung als Monitor ausgebildet und während des Eingriffs im Sichtbild des Chirurgen angeordnet.

Im folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert.

Ausführungsbeispiel

Zur Planung und Vorbereitung eines chirurgischen Eingriffs zur Beseitigung eines Tumors in einem menschlichen Schädel wird als erstes mit Hilfe eines Computertomographen und/oder eines Kernspintomographen eine Serie von Schnittbildaufnahmen des Schädels erstellt, wobei die Aufnahmen jeweils eine Schicht abbilden und die Schichten in geringem Abstand parallel übereinander liegen. Dabei werden die durch die Tomographie ermittelten Meßdaten einer Datenverarbeitung zugeleitet, in welcher daraus mittels entsprechender Software nach Festlegen eines Operationsfelds eine dreidimensionale Soll-Abbildung desselben erstellt wird, d.h. des den Tumor aufweisenden Schädelbereichs. Zusätzlich können anschließend weitere Strukturdaten eingegeben werden, welche beispielsweise durch Auswertung der Ergebnisse

von Ultraschall-, Röntgen- oder holographischen Untersuchungen des Schädels erhalten wurden.

Die dreidimensionale Abbildung des Operationsfeldes wird anschließend als Graphik auf einem Monitor abgebildet, und dient als Grundlage für die Planung bzw. Simulation des Eingriffs.

Bei der Planung des Eingriffs werden unter Berücksichtigung der Ergebnisse der zuvor genannten Untersuchungen die krankhaft veränderten Teile des Gehirns ermittelt und Schnittflächen festgelegt, an denen während des Eingriffs das Gewebe getrennt werden soll. Dabei werden die Schnittflächen so gelegt, daß zum einen möglichst wenig gesundes Gewebe entfernt wird, und daß zum anderen möglichst wenige größere Gefäße verletzt werden. Um das letztere zu erreichen, können in der Nähe der Schnittfläche liegende Gefäße in der dreidimensionalen Soll-Abbildung farblich hervorgehoben oder durch Hinweislinien gekennzeichnet werden.

Um die Schnittflächen selbst der Soll-Abbildung überlagernd darzustellen, können beispielsweise Koordinaten der Schnittfläche in einem der Soll-Abbildung auf dem Monitor überlagerten Koordinatensystem bestimmt und durch Eingabe der Koordinaten in die Datenverarbeitungsanlage (DVA) die Schnittflächen farblich abgehoben oder als transparente oder durchscheinende Flächen in die Soll-Abbildung aufgenommen werden, wobei jedoch zweckmäßig auch ein Datensatz erstellt wird, der ausschließlich die Schnittflächen im Maßstab und im Koordinatensystem der Soll-Abbildung enthält.

Eine weitere Möglichkeit zum Eingeben der Schnittflächen besteht darin, die dreidimensionale Abbildung des Operationsfeldes in zweidimensionale Schichtbilder zu zerlegen. Dabei können nicht nur plane sondern auch geschwungene Schnittflächen eingegeben werden. In die zweidimensionalen Schnittbilder wird dann jeweils mit einem grafischen Eingabemedium - wie z.B. einem Grafiktablett - ein linearer Kurvenzug eingegeben, der die Schnittfläche in dem entsprechenden Schichtbild wiedergibt. Aus

ERSATZBLATT

der Summe der eingelesenen Schnittlinien kann dann wieder eine dreidimensionale, die Soll-Abbildung überlagernde Schnittflächenabbildung erstellt werden.

Um eine optimale Schnittführung zu erhalten, kann die dreidimensionale Soll-Abbildung beispielsweise im Raum gedreht und Ausschnitte vergrößert oder verkleinert werden.

Nach Beendigung der Planung des Eingriffs werden der 3D-Datensatz der Soll-Abbildung und der Abbildung der Schnittflächen gespeichert, wobei die Schnittflächen zweckmäßigerweise in einzelne Flächenelemente zerlegt gespeichert werden, welche sowohl getrennt als auch gemeinsam abgerufen werden können.

Vor Beginn des eigentlichen Eingriffs wird dann der Kopf des Patienten auf einer Auflage unter einem Operationsmikroskop in allen Richtungen unverschiebbar fixiert und gegenüber einem feststehenden Koordinatensystem der Auflage vermessen, wobei die Raumkoordinaten bestimmter charakteristischer Punkte des Schädels bestimmt werden.

Diese Koordinatenpunkte werden der Datenverarbeitungsanlage eingegeben und Korrelationsfaktoren berechnet, um das Koordinatensystem der Soll-Abbildung und der Schnittflächen mit dem feststehenden Koordinatensystem der Auflage zur Deckung zu bringen.

Am Operationsmikroskop angebrachte Sensoren ermitteln die Blickrichtung durch das Mikroskop auf das Operationsfeld sowie die jeweils eingestellte Vergrößerung und übertragen diese Daten ebenfalls zur Datenverarbeitungsanlage.

Aus diesen Daten wird anschließend eine korrigierte Soll-Abbildung und eine korrigierte Abbildung der Schnittflächen erstellt, welche im Hinblick auf ihren Koordinatennullpunkt, die Richtungen der Koordinatenachsen, den Maßstab und die Blickrichtung genau der im Okular des Operationsmikroskops sichtbaren Ist-Abbildung entspricht.

ERSATZBLATT

Die korrigierte Abbildung der Schnittflächen bzw. die korrigierte Soll-Abbildung kann anschließend so in den Strahlengang des Operationsmikroskopes eingespiegelt werden, daß sie die im Okular sichtbare Ist-Abbildung überlagert. Dabei können die korrigierte Soll-Abbildung und die korrigierte Abbildung der Schnittflächen auf einer Bildwiedergabevorrichtung dargestellt und das wiedergebene Bild dann derart in den Strahlengang des Operationsmikroskops eingespiegelt werden, daß es die Ist-Abbildung überlagernd durch das Okular auf das Auge des Chirurgen fällt.

Bei einem als Stereo-Mikroskop ausgebildeten Operationsmikroskop können entsprechend zwei korrigierte Soll-Abbildungen und korrigierte Abbildungen der Schnittfläche erzeugt werden, die der Blickrichtung durch jedes der Okulare entsprechen. Durch Einspiegelung der korrigierten Abbildungen in das jeweilige Okular kann der stereoskopischen Ist-Abbildung des Operationsfeldes eine stereoskopische Soll-Abbildung bzw. eine stereoskopische Darstellung der Schnittflächen überlagert werden, wobei die Richtung der Schnittflächen oder von Elementen der Schnittfläche in die Tiefe der Gewebestruktur visuell sichtbar ist. Der Chirurg kann dann dementsprechend sein Instrument im Operationsfeld entsprechend der dargestellten visuellen Informationen positionieren und bewegen.

Die Kontrolle der Schnittführung kann dadurch noch weiter verbessert werden, daß das durch das Okular des Operationsmikroskopes sichtbare Operationsfeld kontinuierlich mit einer Videokamera aufgezeichnet und die aufgezeichneten Bilder in Echtzeit einer Bildverarbeitungseinheit zugeführt werden, wobei die Daten vom Ausgang der Bildverarbeitungseinheit der Datenverarbeitungsanlage zugeführt und dort kontinuierlich mit der Abbildung der Schnittflächen verglichen werden. Bei Abweichungen des chirurgischen Instruments von der vorgeplanten Schnittfläche kann der Chirurg dann mittels eines optischen oder akustischen Warnsignals auf die Abweichungen hingewiesen werden. Weiter kann eine in Echtzeit von der Datenverarbeitungsanlage gesteu-

erte Instrumentenführung für das vom Chirurgen verwendete Instrument eingesetzt werden, die dem Chirurgen die Ausführung aller Bewegungen überläßt, ihn jedoch auf Bewegungspfade eingrenzt die der geplanten Schnittführung mit gewissen Toleranzen entsprechen.

Die Instrumentenführung kann dabei z.B. über einen Servomechanismus mit elektrischer, pneumatischer oder hydraulischer Betätigung mit einer entsprechend der Größe der Abweichungen variierenden, der vom Chirurgen ausgeübten Schnittkraftkomponente entgegengesetzten Kraftkomponente beaufschlagt werden.

Besondere Bedeutung hat dieses Verfahren bei der Resektion erkrankter Knochenbezirke, in die anschließend ein vorgefertigtes individuelles Implantat eingesetzt werden soll. Die durch ein Herstellungsverfahren des Implantats unter Verwendung von CAD oder durch Abtastung erhaltenen geometrische Daten der Grenzflächen des Implantats zum Knochen hin stellen in diesem Fall die Schnittflächen dar, die durch die Osteotomie dargestellt werden müssen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Planung und Kontrolle eines chirurgischen Eingriffs, wobei ein Operationsfeld festgelegt und mindestens eine Soll-Abbildung des Operationsfeldes aus nichtinvasiv erfaßbaren Strukturdaten erzeugt und der Planung mindestens einer Schnittfläche zugrundegelegt wird, entlang derer während des Eingriffs Gewebe getrennt werden soll, dadurch gekennzeichnet, daß anschließend eine Abbildung der geplanten Schnittfläche erzeugt wird, die während des Eingriffs einer Ist-Abbildung des Operationsfelds überlagert oder auf das Operationsfeld selbst projiziert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Planung der Schnittfläche eine dreidimensionale Soll-Abbildung zugrundegelegt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine dreidimensionale, der Soll-Abbildung überlagerte Abbildung der Schnittfläche erzeugt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Soll-Abbildung rechnergestützt aus Daten unterschiedlich erzeugter Aufnahmen erstellt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufnahmen das Operationsfeld in jeweils übereinanderliegenden Schichten abbilden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß beim Erstellen der Soll-Abbildung Computertomographien, Kernspinresonanz-, Ultraschall-, und/oder Röntgenaufnahmen des Operationsfeldes ausgewertet werden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Soll-Abbildung als Datensatz im Speicher einer DVA gespeichert wird.

ERSATZBLATT

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Soll-Abbildung zur Planung des Eingriffs auf einer Bildwiedergabevorrichtung abgebildet wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Abbildung der Schnittfläche der Soll-Abbildung überlagert wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Schnittfläche visuell von der Soll-Abbildung abhebt.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Schnittfläche als transparente oder semi-transparente Linie dargestellt wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Abbildung der Schnittfläche als Datensatz gespeichert wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß eine dreidimensionale Abbildung der Schnittfläche als 3D-Datensatz gespeichert wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Abbildung der geplanten Schnittfläche mit der Ist-Abbildung zur Deckung gebracht wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß ein Bild des Operationfelds aus dem Strahlengang eines Operationsmikroskops einer Bildverarbeitungseinheit zugeführt und von dort als Datensatz einer DVA übermittelt wird.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Bereich des Operationfeldes von mindestens einer Videokamera aufgenommen wird, und daß die aufgenom-

menen Bilder einer Bildverarbeitungseinheit zugeführt und von dort als Datensatz einer DVA übermittelt werden.

17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, daß kontinuierlich Bilder des Operationsfeldes der Bildverarbeitungseinheit zugeführt werden.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß mit Hilfe zweier nebeneinander angeordneter Videokameras stereoskopische Bilder des Operationsfeldes erzeugt werden.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß der von der Bildverarbeitungseinheit übermittelte Datensatz in der DVA mit dem Datensatz der Soll-Abbildung verglichen wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Eingriff die Raumlage des Operationsfeldes in einem festgelegten Koordinatensystem vermessen wird.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß Korrelationsfaktoren berechnet werden, um die Koordinatensysteme und/oder den Maßstab von Ist- und Soll-Abbildung zur Deckung zu bringen.

22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß eine entsprechend korrigierte, mit der Ist-Abbildung zur Deckung gebrachte Abbildung der Schnittfläche rechnergestützt erzeugt wird.

23. Verfahren nach Anspruch 20 oder 21, dadurch gekennzeichnet, daß anschließend die korrigierte Abbildung der Schnittfläche in den Strahlengang des Operationsmikroskops eingespiegelt wird.

24. Verfahren nach Anspruch 20 oder 21, dadurch gekennzeichnet, daß anschließend die korrigierte Abbildung der Schnittfläche

auf einer Bildwiedergabeeinrichtung der Ist-Abbildung überlagert und wiedergegeben wird.

25. Verfahren nach Anspruch 20 oder 21, dadurch gekennzeichnet, daß anschließend die korrigierte Abbildung der Schnittfläche auf den Bereich des Operationsfeldes projiziert wird.

26. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß die projizierte Schnittfläche von einer den Eingriff vornehmenden Person mittels einer ein Stereobild der Schnittfläche erzeugenden Vorrichtung betrachtet wird.

27. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Raumlage mindestens eines beim Eingriff verwendeten chirurgischen Instrumentes gegenüber dem festgelegten Koordinatensystem kontinuierlich oder intermittierend gemessen wird.

28. Verfahren nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß bei Abweichungen des Instruments von der Schnittfläche ein akustisches oder optisches Warnsignal betätigt wird.

29. Verfahren nach Anspruch 27 oder 28, dadurch gekennzeichnet, daß die Führung des Instruments entlang der Schnittfläche durch eine von der DVA gesteuerte Instrumentenführung unterstützt wird.

30. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß neben der Schnittfläche mindestens eine Hinweislinie auf verletzbare Gewebeteile wie Gefäße, Nerven oder dergleichen und/oder mindestens eine Resektionslinie als Datensatz gespeichert und die Ist-Abbildung überlagert und wiedergegeben oder auf das Operationsfeld projiziert wird.

31. Vorrichtung zur Planung und Kontrolle eines chirurgischen Eingriffs, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 30, gekennzeichnet durch eine Datenverarbeitungsanlage (DVA), von welcher mindestens eine Soll-Ab-

bildung des Operationsfelds aus zuvor erfassten Strukturdaten erzeugt und gemeinsam mit mindestens einer auf der Grundlage der Soll-Abbildung geplanten Schnittfläche gespeichert werden kann, entlang derer während des Eingriffs Gewebe getrennt werden soll, sowie durch mindestens eine Bildwiedergabevorrichtung für die Projektion der Schnittfläche und/oder der Soll-Abbildung während des Eingriffs auf das Operationsfeld.

32. Vorrichtung nach Anspruch 31, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zum Vermessen des Operationsfelds.

33. Vorrichtung nach Anspruch 31 oder 32, dadurch gekennzeichnet, daß die Bildwiedergabevorrichtung zwei einander in schneller Folge überlagerte Halbbilder erzeugt.

34. Vorrichtung nach Anspruch 33, gekennzeichnet durch eine mit der Bildwiedergabevorrichtung synchron gesteuerte stereoskopische Videodarstellungseinheit für die den Eingriff durchführende Person.

35. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 31 bis 34, gekennzeichnet durch einen Laser zum Projizieren der Soll-Abbildung und/oder der Abbildung der Schnittfläche.

36. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 31 bis 34, gekennzeichnet durch zwei Videoprojektionsröhren zum Projizieren der Soll-Abbildung und/oder der Abbildung der Schnittfläche.

37. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 31 bis 36, gekennzeichnet durch eine von der DVA gesteuerte Ablenkvorrichtung zum Ablenken der projizierten Abbildung.

38. Vorrichtung zur Planung und Kontrolle eines chirurgischen Eingriffs, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 30, gekennzeichnet durch mindestens ein Bildaufnahmegerät zum Herstellen einer kontinuierlichen Ist-Abbildung des Operationsfelds, eine Datenverarbeitungsanlage (DVA), von welcher mindestes eine Soll-Abbildung des Ope-

rationsfelds aus zuvor erfassten Strukturdaten erzeugt, gemeinsam mit mindestens einer geplanten Schnittfläche gespeichert und mit der Ist-Abbildung zur Deckung gebracht werden kann, sowie durch mindestens eine Bildwiedergabevorrichtung für die Darstellung der der Ist-Abbildung überlagerten Schnittfläche und/oder Soll-Abbildung.

39. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 31 bis 38, gekennzeichnet durch eine Vorrichtung zum Einlesen von Koordinaten mindestens einer die Soll-Abbildung überlagernd dargestellten Schnittfläche.

40. Vorrichtung nach Anspruch 38 oder 39, gekennzeichnet durch mindestens zwei Bildaufnahmegeräte zum Aufzeichnen einer stereoskopischen Ist-Abbildung des Operationsfelds.

41. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 38 bis 40, gekennzeichnet durch eine an das Bildaufnahmegerät angeschlossene Bildverarbeitungseinheit.

42. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 38 bis 41, dadurch gekennzeichnet, daß die Bildwiedergabevorrichtung im Sichtfeld einer den Eingriff durchführenden Person angeordnet ist.

43. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 38 bis 42, dadurch gekennzeichnet, daß die Bildwiedergabevorrichtung ein Monitor ist.

44. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 31 bis 43, gekennzeichnet durch ein Operationsmikroskop mit Mitteln zum Einspiegeln der Soll-Abbildung und/oder der Schnittfläche in den Strahlengang des Mikroskops.

45. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 31 bis 44, gekennzeichnet durch mindestens ein mit einer Meßvorrichtung zum Messen seiner Koordinatenlage gekoppeltes chirurgisches Instrument.

46. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 31 bis 45, gekennzeichnet durch mindestens ein mit einer von der DVA gesteuerten Instrumentenführung gekoppeltes chirurgisches Instrument.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/DE 94/00157

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 5 G06F15/42

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 5 G06F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>PROCEEDINGS OF COMPUTER BASED MEDICAL SYSTEMS, IEEE COMPUTER SOCIETY PRESS NEW YORK US 14 June 1992, DURHAM NORTH CAROLINA US</p> <p>pages 309 - 314 XP000282957</p> <p>P.F.HEMLER ET AL 'A THREE DIMENSIONAL GUIDANCE SYSTEM FOR FRAMELESS STEREOTATIC NEUROSURGERY'</p> <p>see page 309, line 9 - page 310, line 9</p> <p>see page 311, line 6 - page 313, line 36</p> <p>---</p> <p>-/--</p>	1-46

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

6 June 1994

Date of mailing of the international search report

17 JUN 1994

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Barba, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 94/00157

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>INDUSTRIAL ROBOT vol. 20, no. 2, 1993, UK pages 28 - 29 P.A.FINLAY 'NEUROBOT: A FULLY ACTIVE ROBOT SYSTEM FOR ASSISTING IN NEUROSURGERY' see page 28, middle column, line 30 - page 29, left column, line 24 see page 29, left column, line 41 - middle column, line 2 see page 29, middle column, line 35 - right column, line 20 ---</p>	1-46
A	<p>PROCEEDING OF MEDICAL IMAGING, INTERNATIONAL SOCIETY OF OPTICAL ENGINEERING US vol. 767, no. 2, 1 February 1987, NEWPORT BEACH, CALIFORNIA US pages 509 - 514 B.A.KALL ET AL 'COMPREHENSIVE COMPUTER ASSISTED DATA COLLECTION TREATMENT PLANNING AND INTERACTIVE SURGERY' see page 509, right column, line 1 - line 29 see page 510, left column, line 2 - line 7 see page 510, right column, line 1 - page 511, right column, line 50 see page 512, left column, line 22 - right column, line 63 see page 513, left column, line 13 - line 28 see page 513, left column, line 37 - right column, line 39 ---</p>	1-46
A	<p>EP,A,0 326 768 (FARO MEDICAL TECHNOLOGIES, CA) 9 August 1989 see the whole document ---</p>	1-46
P,A	<p>US,A,5 215 095 (B.A.MACVICAR) 1 June 1993 see column 9, line 10 - line 22 -----</p>	21-25

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

information on patent family members

International Application No.

PCT/DE 94/00157

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP-A-0326768	09-08-89	JP-A- 1280449	10-11-89
		US-A- 5251127	05-10-93
		US-A- 5305203	19-04-94

US-A-5215095	01-06-93	CA-A- 2048697	11-02-92

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internat. Aktenzeichen

PCT/DE 94/00157

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 5 G06F15/42

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 5 G06F

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	<p>PROCEEDINGS OF COMPUTER BASED MEDICAL SYSTEMS, IEEE COMPUTER SOCIETY PRESS NEW YORK US 14. Juni 1992, DURHAM NORTH CAROLINA US</p> <p>Seiten 309 - 314 XP000282957</p> <p>P.F.HEMLER ET AL 'A THREE DIMENSIONAL GUIDANCE SYSTEM FOR FRAMELESS STEREOTATIC NEUROSURGERY'</p> <p>siehe Seite 309, Zeile 9 - Seite 310, Zeile 9</p> <p>siehe Seite 311, Zeile 6 - Seite 313, Zeile 36</p> <p style="text-align: center;">--- -/-</p>	1-46

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

6. Juni 1994

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

17. 06. 94

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+ 31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Barba, M

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>INDUSTRIAL ROBOT Bd. 20, Nr. 2 , 1993 , UK Seiten 28 - 29 P.A.FINLAY 'NEUROBOT: A FULLY ACTIVE ROBOT SYSTEM FOR ASSISTING IN NEUROSURGERY' siehe Seite 28, mittlere Spalte, Zeile 30 - Seite 29, linke Spalte, Zeile 24 siehe Seite 29, linke Spalte, Zeile 41 - mittlere Spalte, Zeile 2 siehe Seite 29, mittlere Spalte, Zeile 35 - rechte Spalte, Zeile 20 ---</p>	1-46
A	<p>PROCEEDING OF MEDICAL IMAGING, INTERNATIONAL SOCIETY OF OPTICAL ENGINEERING US Bd. 767, Nr. 2 , 1. Februar 1987 , NEWPORT BEACH, CALIFORNIA US Seiten 509 - 514 B.A.KALL ET AL 'COMPREHENSIVE COMPUTER ASSISTED DATA COLLECTION TREATMENT PLANNING AND INTERACTIVE SURGERY' siehe Seite 509, rechte Spalte, Zeile 1 - Zeile 29 siehe Seite 510, linke Spalte, Zeile 2 - Zeile 7 siehe Seite 510, rechte Spalte, Zeile 1 - Seite 511, rechte Spalte, Zeile 50 siehe Seite 512, linke Spalte, Zeile 22 - rechte Spalte, Zeile 63 siehe Seite 513, linke Spalte, Zeile 13 - Zeile 28 siehe Seite 513, linke Spalte, Zeile 37 - rechte Spalte, Zeile 39 ---</p>	1-46
A	<p>EP,A,0 326 768 (FARO MEDICAL TECHNOLOGIES, CA) 9. August 1989 siehe das ganze Dokument ---</p>	1-46
P,A	<p>US,A,5 215 095 (B.A.MACVICAR) 1. Juni 1993 siehe Spalte 9, Zeile 10 - Zeile 22 -----</p>	21-25

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 94/00157

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP-A-0326768	09-08-89	JP-A-	1280449	10-11-89
		US-A-	5251127	05-10-93
		US-A-	5305203	19-04-94

US-A-5215095	01-06-93	CA-A-	2048697	11-02-92
